



B 9

⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ ⑫ Offenlegungsschrift
⑯ ⑯ DE 195 43 347 A 1

⑯ Int. Cl. 6:
G 01 B 11/00
G 01 B 11/24
G 01 C 3/00
// G01C 11/30

DE 195 43 347 A 1

⑯ ⑯ Aktenzeichen: 195 43 347.5

⑯ ⑯ Anmeldetag: 2. 11. 95

⑯ ⑯ Offenlegungstag: 7. 5. 97

⑯ ⑯ Anmelder:
Breuckmann GmbH, 88709 Meersburg, DE

⑯ ⑯ Zusatz zu: P 44 15 834.3

⑯ ⑯ Erfinder:

Klaas, Erik, 88719 Stetten, DE; Breuckmann, Bernd,
Dr., 88709 Meersburg, DE

⑯ ⑯ Vorrichtung zur optischen Vermessung von Entfernungen und räumlichen Koordinaten

⑯ ⑯ Zur Vermessung von Entfernungen und räumlichen Koordinaten von Objektpunkten und/oder deren Bewegungen wird eine Vorrichtung vorgeschlagen, mit der unter Anwendung von bildgebenden Triangulationsverfahren das Meßobjekt mit strukturiertem Licht beleuchtet wird, wobei unterschiedliche Lichtmuster, die bereits phasenrichtig auf einem gemeinsamen Träger angeordnet sind, nacheinander mit definierter Phasenbeziehung auf das Objekt aufprojiziert werden. Die Vorrichtung ermöglicht eine einfache und miniaturisierte Bauweise von Projektionseinrichtungen, wobei gleichzeitig die Parameter der projizierten Lichtstrukturen in weiten Grenzen der Aufgabenstellung angepaßt werden können.

DE 195 43 347 A 1



Beschreibung

Bekannte Vorrichtungen auf Basis von bildgebenden Triangulationsverfahren zur Vermessung von räumlichen Koordinaten weisen jeweils charakteristische Nachteile auf, die ihren Einsatz in der praktischen Anwendung z. T. stark einschränken. Diese Einschränkungen resultieren vornehmlich aus der Art der verwendeten Projektionstechnik. Die erfundungsgemäße Vorrichtung vermeidet diese Schwierigkeiten durch eine neuartige Projektionseinheit, bei der die zu projizierenden Lichtstrukturen auf einem gemeinsamen Träger mit definierter Phasenlage angebracht sind.

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 zur optischen Vermessung von Entfernung und räumlichen Koordinaten von Objektpunkten bzw. deren Verschiebungen unter Anwendung von bildgebenden Triangulationsverfahren, bei denen das zu vermessende Objekt mit strukturierten Lichtmustern beleuchtet wird, und diese aufprojizierten Objektraster von einem unter einem Winkel zur Beleuchtungsrichtung angeordneten Beobachtungssystem mit einer Kamera aufgenommen und gemäß den Triangulationsgesetzen ausgewertet werden, wobei die Information von mehreren Objektrastern verarbeitet wird.

Ein Verfahren dieser Art ist aus der Literatur (Breuckmann, Lübeck, VDI-Bericht 679, 1988) als Phasenshiftverfahren bekannt und wird in US-PS 4641 972 im einzelnen beschrieben. Ein wesentliches Problem des Phasenshiftverfahrens resultiert aus der Tatsache, daß in einem beliebigen Objektpunkt nicht ohne weiteres die absolute Ordnung des Streifenmusters erfaßt werden kann und daher im allgemeinen nur relative Entfernung bzw. Objekt-Koordinaten gemessen werden können.

In EP-0 379 079 B1 ist ein Verfahren beschrieben, mit dem dieser Nachteil vermieden werden kann. Dazu wird nacheinander eine Anzahl n , $n \geq 2$, von helligkeitsmodulierten Lichtstrukturen mit unterschiedlicher Periodenlänge auf das Objekt projiziert, so daß von der Kamera mehrere Objektraster erfaßt werden können. Für jedes Objektraster wird eine Phasenshiftauswertung durchgeführt. Damit errechnet sich für jeden Objektpunkt ein Satz von n Phasenwerten, aus denen sich eindeutig die absolute räumliche Lage des Objektpunktes bestimmen läßt. Eine Schwierigkeit bei diesem Verfahren besteht darin, daß die Phasenlage der einzelnen, in den Projektionsstrahlengang eingebrachten Lichtstrukturen nicht automatisch hinreichend definiert ist, mit der Folge von möglichen systematischen Meßfehlern. In EP-0 379 079 B1 wird daher auch eine Vorrichtung beschrieben, um diese Problematik zu lösen.

Dabei werden die zu projizierenden Lichtstrukturen als Strichgitter auf einem gemeinsamen Träger angeordnet, auf dem zusätzlich Referenzmarken angebracht sind, bezüglich derer die Strichgitter eine definierte Phasenlage aufweisen. Mittels einer Verschiebeeinheit kann der gemeinsame Träger bewegt werden, wobei die Phasenlage der einzelnen Strichgitter über die Referenzmarken kontrolliert und gesteuert wird. Dazu müssen allerdings zusätzliche Mittel für eine hochpräzise Verschiebeeinheit und Phasenregelung bereitgestellt werden, insbesondere, wenn mit Strichgittern hoher Liniendichte gearbeitet wird, wie sie für eine miniaturisierte Bauweise der Projektionseinheit benötigt werden.

Ein anderes topometrisches Verfahren zur räumlichen Koordinatenbestimmung beruht auf dem so-

genannten codierten Lichtansatz (Wahl, 8. DGAM-Symposium, 1986). Eine besonders für den praktischen Einsatz dieses Verfahrens geeignete Ausführung arbeitet mit einem programmierbaren LCD-Projektor zur Erzeugung der codierten Lichtstrukturen. Der wesentliche Nachteil dieses Verfahrens liegt in seiner relativ geringen Auflösung, die für viele Anwendungsfälle nicht ausreichend ist.

In anderen Quellen (DE 41 20 115 A1), (Krattenthaler, Mayer, Duwe, 1993), (Halbauer, Diplomarbeit 1993) wird ein Verfahren beschrieben, welches durch Kombination des Phasenshiftverfahrens mit dem codierten Lichtansatz die Vorteile dieser beiden Verfahren vereint und ihre Nachteile dabei vermeidet. Eine praktische Ausführung dieses Verfahrens kann ebenfalls mit einem LCD-Projektor zur Erzeugung der benötigten Lichtstrukturen realisiert werden. Ein gravierender Nachteil resultiert aus der begrenzten Auflösung der LCD-Displays sowie ihrer relativ großen Bauweise. Meßsysteme zur räumlichen Koordinatenbestimmung auf Basis von LCD-Displays sind daher in ihrer Anwendungsbreite eingeschränkt, insbesondere, wenn eine kleine Bauweise bei hoher Meßgenauigkeit gefordert ist.

Der Erfindung liegt demgemäß die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zu schaffen, welche die den genannten Ausführungen innewohnenden Schwierigkeiten vermeidet, gleichzeitig aber die Vorteile der einzelnen Verfahren beibehält und/oder kombiniert.

Die erfundungsgemäße Lösung dieser Aufgabe besteht in den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruches 1, vorteilhafte Ausführungen der erfundungsgemäßen Vorrichtung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Die erfundungsgemäße Vorrichtung ist somit dadurch gekennzeichnet, daß die zur Erzeugung von unterschiedlichen Lichtstrukturen benötigten Projektionsgitter auf einem gemeinsamen Träger bereits mit definierter Phasenbeziehung angeordnet sind, wobei der Träger phasenrichtig im Projektionsstrahlengang verschoben werden kann, um das jeweils benötigte Lichtmuster zu projizieren. Als Träger kann z. B. eine mit einer Chromschicht beschichtete Glasplatte dienen, auf die die einzelnen Projektionsgitter aufbelichtet werden. Mit den aus der Halbleitertechnik bekannten Verfahren lassen sich Gitterstrukturen mit hoher Liniendichte, variablen Gitterabständen und Intensitätsverteilungen sowie definierter Phasenlage auf sehr kleinen Abmessungen realisieren.

Eine vorteilhafte Ausführung der erfundungsgemäßen Vorrichtung ist im Unteranspruch 2 ausgeführt. Dabei werden Liniengitter verwendet, die — wie in Fig. 1 beispielhaft dargestellt — bezogen auf ihre Gitterstruktur übereinander phasenrichtig angeordnet sind. Um die einzelnen Liniengitter 1, 2, 3 in den Strahlengang der Projektionseinheit zu bringen, wird der gemeinsame Träger 4 senkrecht zur Gitterstruktur bewegt.

Gemäß den Unteransprüchen 3—4 kann zusätzlich die exakte Ausrichtung der Verschieberichtung senkrecht zur Gitterstruktur und damit die phasenrichtige Projektion der Liniengitter durch eine justierbare mechanische Präzisionsführung 5 sowie einen auf dem Gitter angebrachten Referenzstreifen 6 sichergestellt werden.

Der Unteranspruch 5 beschreibt eine weitere vorteilhafte Ausführung der erfundungsgemäßen Vorrichtung, die eine besonders komprimierte Speicherung von Liniengittern gestattet, wodurch Projektionseinrichtungen mit sehr kleiner Bauweise ermöglicht werden. Da —

X

wie in Fig. 2 dargestellt — bei Liniengittern die gesamte Information in einem Schnitt senkrecht zum Linienvorlauf enthalten ist, ist es ausreichend, ein schmales Projektionsband 7 mit der benötigten Linienstruktur auf dem Träger zu belichten. Durch eine geeignete Zylinderoptik 8 oder anamorphotische Abbildung kann das Projektionsband mit den benötigten Abbildungsverhältnissen aufgeweitet und in die Objektebene 9 projiziert werden.

Ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung besteht in der Tatsache, daß auf dem Träger eine große Anzahl von unterschiedlichen Projektionsgittern gespeichert werden kann, wobei die Gitterparameter der einzelnen Gitter in weiten Grenzen variabel sind. In den Unteransprüchen 6—12 sind vorteilhafte Ausführungen genannt, die durch Wahl der Projektionsgitter realisiert werden können.

Eine weitere vorteilhafte Ausführung wird in Unteranspruch 13 beschrieben. Dabei werden die Strahlengänge — wie in Fig. 3 dargestellt — von Projektionseinheit 10 und/oder Viewing-System 11 über Spiegel 12 so geführt, daß eine effektive Triangulationsbasis 13 entsteht, die größer ist als die Baulänge 14 der Vorrichtung.

Dies ermöglicht eine weitere Reduzierung der Baugröße und des Gewichts der erfindungsgemäßen Vorrichtung ohne Verringerung der Meßgenauigkeit bzw. Auflösung, ein Vorteil, der insbesondere für die Integration in Handhabungssysteme mit begrenzter Traglast von Bedeutung ist.

Gemäß Unteranspruch 14 wird bei einer weiteren vorteilhaften Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine Farbkamera eingesetzt, mit der nicht nur das Streifenmuster, sondern zusätzlich die Textur und Farbe des Objektes aufgenommen wird.

Damit steht eine erweiterte Datenbasis zur Verfügung, um 2.3 ein naturgetreues Abbild des Meßobjektes zu erzeugen. Dies kann beispielsweise sowohl ein reales Modell als auch ein computergeneriertes Bild in der Virtual Reality sein.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Vermessung von Entfernungen und räumlichen Koordinaten von Objektpunkten und/oder Bewegungen von Objektpunkten unter Anwendung von bildgebenden Triangulationsverfahren (topometrischen Meßverfahren) wie z. B. Projected-Fringe-, Moire-, oder GreyCode-Techniken, mit

- einem Projektor zur Projektion von strukturierten Lichtmustern
- einer Anzahl von Projektionsgittern mit unterschiedlich codierten Lichtstrukturen
- einem Viewing-System zur Beobachtung der auf das Objekt aufprojizierten Lichtstrukturen
- einer Erfassungs- und Auswerteeinheit, mit der aus den vom Viewing-System beobachteten Objektrastern die absolute Lage der zu vermessenden Objektpunkte ermittelt wird
- einer Verschiebeeinrichtung

dadurch gekennzeichnet, daß

- die einzelnen Projektionsgitter auf einem gemeinsamen Träger mit definierter Phasenlage angeordnet sind und
- der Träger mittels der Verschiebeeinrich-

tung im Projektor so bewegt wird, daß die einzelnen Projektionsgitter phasenrichtig in den Meßraum projiziert werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Projektion Liniengitter verwendet werden, die — bezogen auf die Gitterstruktur — übereinander angeordnet sind, und die Verschiebung des Trägers senkrecht zur Gitterstruktur erfolgt.

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine justierbare mechanische Führung eine phasenrichtige Verschiebung ermöglicht.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zu Justier- und Regelungszwecken ein Referenzstreifen auf dem Gitterträger angebracht ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Projektion von Liniengittern diese senkrecht zur Gitterstruktur komprimiert auf dem Träger gespeichert werden und die so komprimierten Gitter durch eine geeignete Abbildung in den Meßraum projiziert werden, wobei durch Wahl der unterschiedlichen Abbildungsmaßstäbe in x- und y-Richtung das Gitter wieder aufgeweitet werden kann.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Codierung der Lichtstrukturen nach dem codierten Lichtansatz erfolgt.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Codierung der Lichtstrukturen nach dem Phasenshiftverfahren erfolgt.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß Lichtstrukturen mit sinusförmiger Intensitätsverteilung projiziert werden.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5 und 7 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Codierung der Lichtstrukturen so erfolgt, daß nach dem Phasenshiftverfahren Raster mit unterschiedlichen Gitterperioden projiziert werden, wobei das Verhältnis der Gitterperioden so gewählt ist, daß eine eindeutige Triangulation möglich ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Codierung der Lichtstrukturen durch eine Kombination von Phasenshiftverfahren und codiertem Lichtansatz erfolgt.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß farbcodierte Lichtmuster verwendet werden.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Codierung der Lichtstrukturen durch eine Kombination von Phasenshiftverfahren, codiertem Lichtansatz und Farbcodierung erfolgt.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlengänge von Projektionseinheit und/oder Viewing-System über Spiegel so geführt werden, daß eine effektive Triangulationsbasis resultiert, die größer ist als die Baulänge der Vorrichtung.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß im Viewing-System eine Farbkamera eingesetzt wird, mit der außer den aufprojizierten Lichtstrukturen auch die Farbe



und Textur des Objektes beobachtet und erfaßt
wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

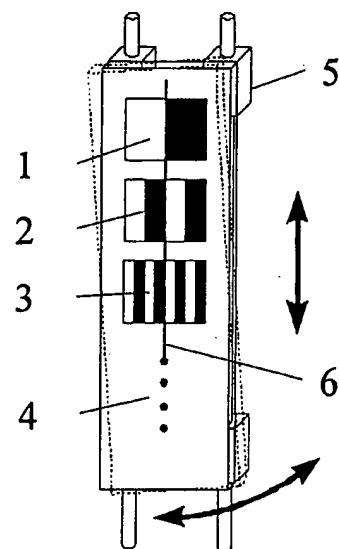
55

60

65

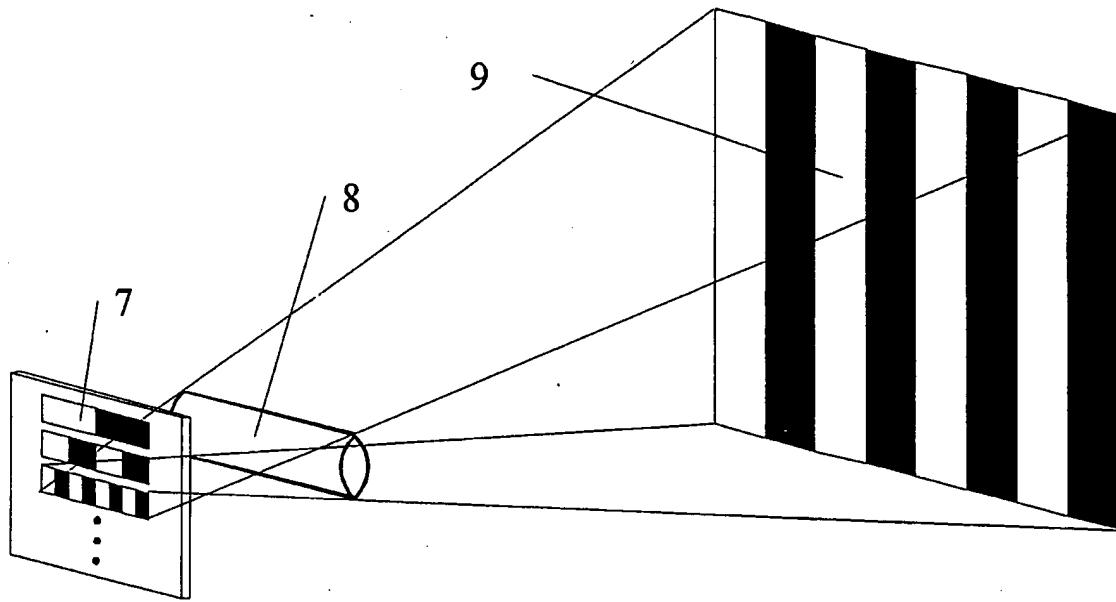
- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

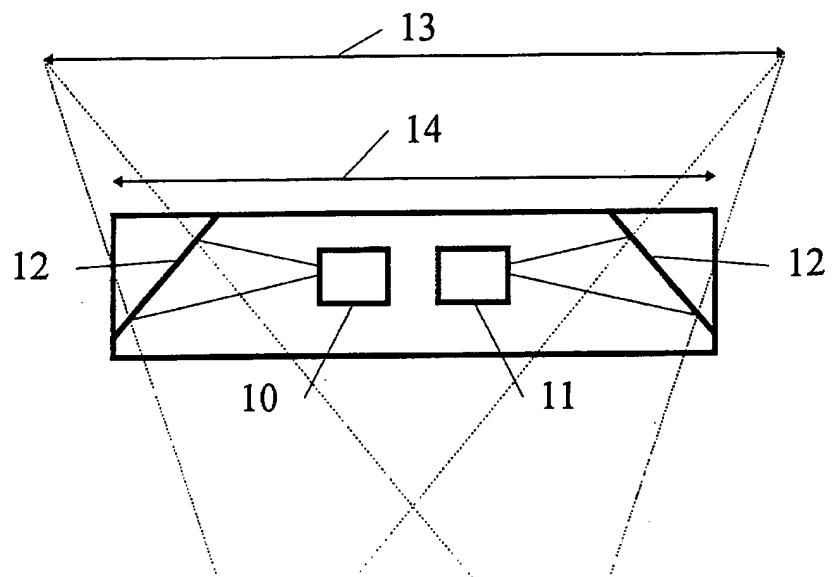


Figur 1

*



Figur 2



Figur 3